



IMPACT DE LA FLEXIBILITE ET DES PREFERENCES DES EMPLOYES SUR L'ORDONNANCEMENT DU PERSONNEL : UNE APPROCHE PAR SIMULATION MULTI-AGENTS

Mohamed Sabar, Mohamed El Moueffak

► To cite this version:

Mohamed Sabar, Mohamed El Moueffak. IMPACT DE LA FLEXIBILITE ET DES PREFERENCES DES EMPLOYES SUR L'ORDONNANCEMENT DU PERSONNEL : UNE APPROCHE PAR SIMULATION MULTI-AGENTS . MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nov 2014, Nancy, France. hal-01166602

HAL Id: hal-01166602

<https://hal.science/hal-01166602>

Submitted on 23 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IMPACT DE LA FLEXIBILITE ET DES PREFERENCES DES EMPLOYES SUR L'ORDONNANCEMENT DU PERSONNEL : UNE APPROCHE PAR SIMULATION MULTI-AGENTS

Mohamed SABAR^a, Mohamed EL MOUEFFAK^b

^{a, b} Groupe ISCAE

Institut supérieur de commerce et d'administration des entreprises

BP. 8114 - Casablanca Oasis, Casablanca, Maroc

Auteur correspondant : ^a msabar@groupeisca.ma

^b melmoueffak@groupeisca.com

RESUME : Dans ce papier nous exploitons un algorithme à base d'agents et un autre de recuit simulé pour l'ordonnancement du personnel dans un contexte dynamique, et ce afin d'étudier l'impact deux aspects de la gestion stratégique des ressources humaines. Ces aspects sont : la flexibilité dans l'élaboration des horaires de travail et l'impact de la prise en considération des préférences dans le processus d'ordonnancement du personnel. Un intérêt particulier est porté au problème d'ordonnancement en temps réel des activités du personnel travaillant sur une chaîne d'assemblage. Nous abordons cette problématique dans une perspective de gestion par compétences, et ce, en nous basant sur le profil de compétences dans la modélisation de l'offre et de la demande en personnel.

MOTS-CLES : Ordonnancement agile du personnel, Systèmes Multi-agents, Gestion par compétences.

1. INTRODUCTION

Dans le contexte d'intensification de la concurrence pour l'environnement industriel, de nouveaux paradigmes de conception, de planification et de contrôle de systèmes manufacturiers ont été développés, notamment le paradigme de l'entreprise agile. Goldman et al. (1995, p 8) définissent l'entreprise agile comme une organisation capable de s'adapter dans un environnement continuellement compétitif et de prospérer dans des marchés imprévisibles. Selon Hermel (1986, p1) « les exigences nouvelles des divers environnements des entreprises interpellent leur fonctionnement traditionnel et semblent conférer à la capacité de changement un statut de facteur stratégique de performance ». Ces auteurs considèrent l'entreprise comme une entité proactive engagée dans un processus d'adaptation et de remise en question continue. À cet effet, pour être agile, l'entreprise doit être en mesure de réagir rapidement face aux changements de la demande et être capable de reconfigurer aisément ses processus d'affaires pour répondre aux nouveaux besoins du marché.

Selon Malecki (1996)¹, l'agilité dans le domaine manufacturier peut être considérée selon trois axes. Le premier axe porte sur l'agilité dans les relations

interentreprises. Cela inclut, par exemple, une flexibilité dans la gestion de la chaîne logistique et le développement de partenariats stratégiques. Le deuxième axe s'intéresse à l'agilité des processus de production et des infrastructures utilisées. Cette agilité se manifeste à travers la capacité de planifier et de produire avec facilité et rapidité des lots de produits de natures et de tailles variantes de manière importante. Le troisième axe, dans lequel se placent ces travaux, porte sur l'agilité dans la gestion des ressources humaines. C'est une agilité portant sur la capacité des employés à effectuer plusieurs types d'opérations sur différents postes de travail (*formation croisée*) et à répondre aux besoins des clients dans de courts délais tout en maintenant un niveau de qualité élevée (Hopp et Van Oyen, 2004; Kula et al. 2004). En effet, des employés polyvalents permettent à l'entreprise de réagir en adéquation avec les fluctuations des charges de travail tout en profitant d'un vaste bassin de compétences (Jordan et al. 2004).

Goldman et al. (1995, p 107) considèrent que dans une entreprise agile, les ressources humaines constituent le noyau du système de production. Dans le même ordre d'idées, Wright et McMaham (1992) identifient les ressources humaines comme une source d'avantage concurrentiel durable dans les organisations. Ils soulignent que l'avantage concurrentiel procuré par les employés est lié, d'une part, à la capacité des organisations à les gérer et à les mobiliser et, d'autre part, à leurs compétences.

¹ Cité par Hopp et Van Oyen (2004)

Dans cette perspective, la gestion des ressources humaines (GRH) constitue une préoccupation de premier plan pour les gestionnaires. Afin de s'ajuster aux nouvelles tendances du marché, certaines pratiques utilisées jusqu'à présent en matière de GRH sont remises en question. Notamment, l'approche de type taylorien-fordien du travail, où le poste constitue le pivot des pratiques de gestion des ressources humaines (Cazal et Dietrich 2003) et l'approche de gestion prévisionnelle des RH basée sur la recherche d'un équilibre entre l'offre et la demande en employés sans tenir compte des objectifs stratégiques de l'organisation (Bayad et al. 2001). Pour remédier à ces problèmes, plusieurs travaux se sont tournés vers des modèles de gestion et de planification des RH intégrant les activités des RH aux objectifs stratégiques de l'organisation et plaçant l'employé au centre des préoccupations managériales. Ces modèles ont été générés dans le cadre d'un courant de pensée appelé : Gestion Stratégique des Ressources Humaines (GSRH) (Bayad et al. 2001). Le modèle de gestion par compétences des RH s'inscrit dans ce courant de pensée. Il vise l'utilisation des compétences comme élément central de la gestion du capital humain au sein de l'organisation (Rivard 2001).

L'approche de gestion par compétences présente l'avantage d'être plus flexible et de s'adapter aux changements fréquents et aux réorganisations. Elle remplace ainsi la traditionnelle description de tâches souvent restrictive et inadaptée à la rapidité des mutations des types d'emplois (Rivard 2001).

Dans notre recherche, nous nous intéressons à la gestion des ressources humaines opérationnelles, et plus spécifiquement, aux problèmes de planification de ces ressources, dans un contexte dynamique. Un intérêt particulier est porté au problème d'ordonnancement en temps réel des activités du personnel travaillant sur une chaîne d'assemblage. Nous abordons cette problématique dans une perspective de gestion par compétences, et ce, en nous basant sur le profil de compétences dans la modélisation de l'offre et de la demande en personnel.

En plus, pour marquer l'agilité du personnel, nous nous plaçons dans un contexte manufacturier favorisant la gestion par la polyvalence inter-postes des employés (formation croisée) (Vairaktarakis et Winch 1999 ; Hopp et al. 2004 ; Jordan et al. 2004 ; Bokhorst et al. 2004, Bard 2004 ; Kula et al. 2004 ; Sumukadas et Sawney 2004). Ce style de gestion porte sur le renforcement de la complémentarité entre les compétences disponibles et celles requises ainsi que sur l'augmentation de la redondance de certaines compétences primordiales à travers la formation des employés. L'objectif est d'augmenter le bassin des compétences disponibles à l'interne en rendant les employés de plus en plus polyvalents. Cela confère à

l'entreprise une grande flexibilité (Hopp et al. 2004). De telles entreprises sont plus aptes à renforcer la capacité des ressources humaines sur certains postes affichant une augmentation imprévisible de la charge de travail (Jordan et al. 2004) ou bien pour faire face aux absences ou aux retards d'employés et ce, en mobilisant d'autres employés puisés à partir du bassin de compétences disponibles.

Notre recherche se focalise sur :

- a. Élaboration d'un plan d'ordonnancement et d'affectation des employés en prenant en considération les disponibilités, les compétences et les expériences de chacun d'eux. Ce plan doit spécifier les employés affectés, les machines sur lesquelles chaque employé doit opérer, l'intervalle du temps dans lequel il doit intervenir et les périodes de pause.
- b. Gestion et contrôle de l'exécution du plan d'ordonnancement.

Il est question de proposer une approche qui permet d'une part, un ordonnancement quotidien d'employés hétérogènes dans un contexte de chaîne d'assemblage et d'autre part, un ajustement et un ordonnancement réactif des plans d'affectation des employés en cas de perturbations, notamment l'absentéisme d'un ou de plusieurs employés.

Plusieurs méthodes, pour la plupart des heuristiques ou des méta-heuristiques (Alfares 2004), ont été proposées pour la résolution du problème d'ordonnancement du personnel. Le recours à de telles méthodes est dû à la nature complexe du problème. En effet, Garey et Johnson (1979) ont prouvé qu'il est de complexité NP-complet.

Dans cette perspective, l'approche des systèmes multi-agents (SMA) qui s'intéresse aux interactions d'un ensemble d'entités autonomes, appelées agents, ayant un comportement collectif qui permet d'atteindre une fonction désirée dans un environnement donné, nous semble très pertinente et prometteuse pour appréhender notre problématique. En effet, l'approche des systèmes multi-agents est appropriée pour le développement des systèmes manufacturiers distribués (Jennings et al. 1995; Jennings et Wooldridge 1998). Elle offre plusieurs possibilités de modélisation et de simulation des systèmes, particulièrement pour les systèmes sociaux (Panzarasa et Jennings 2001) où la composante humaine constitue un élément clé. C'est le cas, par exemple, de l'ordonnancement du personnel nécessitant la coordination et la collaboration entre plusieurs acteurs (gestionnaires, contremaîtres, transporteurs, employés, etc.).

Par ailleurs, nous avons retenu comme mécanisme d'interaction et de négociation pour notre système multi-agents l'approche du jeu coopératif avec utilité

transférable qui est une branche de la théorie des jeux à n-personnes.

Dans un article précédent (Sabar et al. 2008), nous avons présenté une formulation du problème liée à l'ordonnancement en temps réel du personnel dans un environnement manufacturier dynamique. À ce sujet, nous avons proposé un modèle mathématique du problème d'affectation dynamique des employés sur une chaîne d'assemblage avec prise en considération des préférences, des compétences et des déplacements inter-postes des employés. En nous basant sur ce modèle, et grâce à l'utilisation du solveur commercial de type Ilog CPLEX Version 9.0, nous avons pu résoudre des instances de problèmes de petite taille. Les résultats obtenus ont démontré que la production d'une solution optimale requiert un temps de calcul important, ce qui risque de générer une rigidité et une moindre réactivité de la fonction d'ordonnancement face à des perturbations d'un environnement dynamique.

À cet effet, nous avons jugé qu'une approche de résolution dynamique et distribuée à base d'agents serait judicieuse. Dans cette perspective, nous avons présenté une approche à base d'agents pour la résolution des problèmes d'ordonnancement. Cette approche est structurée autour de la notion de coopération inter-agent et ce, grâce à la formation de coalitions (Sabar et al. 2009).

Afin de mettre en œuvre cette approche, nous avons présenté une modélisation multi-agents d'une chaîne d'assemblage. Cette modélisation se base sur l'utilisation de plusieurs types d'agents intelligents qui encapsulent d'une part, les processus décisionnels d'ordonnancement du personnel et d'autre part, les entités physiques de la chaîne. Les résultats d'ordonnancement du personnel obtenus à partir des premiers tests sont encourageants. Ils démontrent que notre approche à base d'agents permet d'avoir des solutions de bonne qualité en des temps raisonnables (Sabar et al. 2009).

De plus, pour faire face aux aléas liés à l'absence d'employés, nous nous sommes intéressés au processus de réordonnancement du personnel. À cet effet, nous avons développé une extension de l'approche à base d'agents ainsi qu'une approche de recuit simulé, qui permettent de résoudre le problème de réordonnancement (Sabar et al. 2012). Nous avons pu tester les performances de ces deux approches sur plusieurs cas du problème d'ordonnancement et de réordonnancement du personnel. L'ensemble des résultats démontre que l'algorithme à base d'agents conduit à de très bonnes solutions en comparaison avec le recuit simulé.

Le présent papier a pour objectif l'exploitation des algorithmes à base d'agents et de recuit simulé, qui sont développés dans notre recherche, pour étudier

deux aspects de la gestion stratégique des ressources humaines : la flexibilité dans l'élaboration des horaires de travail et l'impact de la prise en considération des préférences dans le processus d'ordonnancement du personnel. Dans les deux cas, les résultats de simulation obtenus corroborent les hypothèses initiales de recherche, à savoir la pertinence et l'intérêt de la notion de flexibilité et de la prise en compte des préférences dans le processus d'ordonnancement du personnel.

2. ANALYSE DE L'IMPACT DE LA FLEXIBILITE

2. 1. Description des simulations

Dans le processus d'ordonnancement du personnel, la dimension liée à la flexibilité du temps de travail apparaît aujourd'hui comme étant un élément clé pour l'amélioration de la gestion des ressources humaines. De nombreuses recherches ont démontré les effets bénéfiques de la flexibilité (Bailey & Field 1985 ; Jacobs & Bechtold 1993). Il se dégage de ces recherches qu'une flexibilité élevée offre plus de souplesse dans l'élaboration des plannings de travail et permet par la même occasion d'améliorer la productivité des employés. En effet, selon Bailey et Field (1985), la flexibilité a un impact positif sur l'environnement de travail, qui se traduit par une motivation plus élevée des employés et une diminution du taux d'absentéisme et des retards. L'idée de base de la flexibilité du temps de travail consiste à diversifier les modèles des horaires de travail possibles en termes de durées et d'emplacements des périodes de travail, ou à réduire au minimum les limites temporelles de tels modèles et ce, afin de faire face aux fluctuations et aux aléas de la production et pour s'accommoder aux préférences et aux contraintes personnelles des employés.

La flexibilité dans l'ordonnancement du personnel peut prendre plusieurs formes. Les exemples les plus répandus sont :

1. Adoption de plusieurs types de quart de travail qui ont des durées et des plages horaires distinctes (Shift-length flexibility) (Jacobs & Bechtold 1993 ; Thompson 1995 ; Brusco & Jacobs 2003 ; Klabjan et al. 2000 ; Rekik et al. 2004) ;
2. Flexibilité sur les heures de démarrage du quart de travail par jour et par semaine (Start-time flexibility) (Thompson 1995 ; Rekik et al. 2004) ;
3. Flexibilité sur l'emplacement et la durée des jours de repos hebdomadaire (Days-off flexibility) (Topaloglu & Ozkarahan 2004). Ce type de flexibilité est lié

principalement au cas du problème d'élaboration de patrons de travail (Tour scheduling problem);

4. Flexibilité liée aux emplacements des périodes de pause quotidiennes (Break-placement flexibility) (Jacobs & Bechtold 1993 ; Thompson 1995 ; Brusco & Jacobs 2000 ; Rekik et al 2004).

Dans ce papier, nous nous intéressons à la flexibilité liée d'une part, à la dimension de durée du quart de travail, et d'autre part, à la dimension de l'heure de démarrage du quart de travail. Notre objectif consiste à évaluer les gains potentiels que peut produire une stratégie flexible d'aménagement du temps de travail en comparaison avec le modèle traditionnel et typique du quart de travail qui se caractérise généralement par une durée de 9-heures et une seule période de début de travail, généralement à 8 h du matin (appelé dans ce qui suit : *modèle#1*).

Pour chacune des deux dimensions de flexibilité choisies, nous considérons deux niveaux distincts qui reflètent respectivement un niveau moyen et un niveau élevé de flexibilité :

- Pour la dimension de la durée du quart de travail, le premier niveau de flexibilité consiste en quatre durées de travail possibles pour un employé spécifique à chaque quart. Les durées choisies sont respectivement 4, 5, 7 et 9 heures de travail. Dans le cas du deuxième niveau de flexibilité, aucune durée de présence n'est préétablie. La seule contrainte à ce niveau porte sur la durée minimale de présence d'un employé. Cette durée est considérée comme étant égale à 4 heures consécutives de travail par quart.

- Pour la dimension du démarrage du quart de travail, nous considérons dans un premier niveau qu'un quart de travail peut débuter toutes les 2 heures en commençant à partir d'une heure de référence (8 h du matin par exemple). Dans le deuxième niveau, la fréquence de démarrage est plus élevée. Dans ce cas, un quart de travail peut commencer toutes les heures.

La combinaison de ces deux dimensions donne lieu à quatre modèles possibles pour l'aménagement du temps de travail tel qu'illustré dans la figure 1.

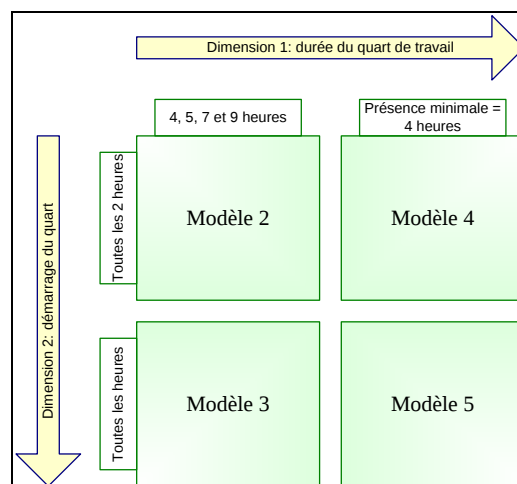


Figure 1 : modèles flexibles d'aménagement du temps de travail

Afin d'évaluer l'impact des cinq modèles de flexibilité choisis, nous procédons à la résolution d'un problème d'ordonnancement du personnel qui correspond à un plan de production s'étalant sur un horizon de soixante quarts de travail. Un soin particulier a été accordé à l'élaboration de ce plan de production, et ce, de telle manière à avoir une multitude de types de charge de travail, qui varie d'une charge faible à une charge forte en termes du nombre d'employés requis. En plus, au niveau de chaque quart, nous simulons un certain nombre de perturbations liées à l'absence totale ou partielle d'employés. Nous considérons un taux d'absence variant entre 1 à 5 % du nombre total de la main-d'œuvre. La taille du bassin de la main-d'œuvre

est de 200 employés dont 5% sont des chefs d'équipes. En cas de surplus d'employés, les employés qui ne seront pas affectés à des activités durant le quart de travail seront considérés comme étant des travailleurs sur appel. Le système d'assemblage est composé de 40 stations d'assemblage. Pour chaque quart, l'horizon de planification est égal à 9 heures. Nous avons considéré un temps de cycle de 15 min, ce qui donne une planification étalée sur 36 périodes de temps. Durant un quart de travail, la fréquence de changement de gamme de produits à assembler varie de 1 à 4 fois. Au niveau de chaque station, le passage d'un modèle à un autre requiert un temps de setup égal à 15 min.

Pour la mise en œuvre de ces différents modèles, nous utilisons deux approches de résolution pour l'ordonnancement du personnel : l'approche à base d'agents ainsi que la deuxième variante de l'algorithme de recuit simulé (permutation par bloc d'activités). Cela nous permet par la même occasion de comparer les performances de ces deux approches sur un horizon assez important. En ce qui concerne le temps de calcul utilisé pour chaque quart de travail, nous nous sommes fixés une durée égale à 10 minutes pour le processus d'ordonnancement et une durée de 100 secondes pour le réordonnancement en cas d'absence totale ou partielle d'employés.

2. 2. Résultats et analyse de l'impact de la flexibilité

Nous allons maintenant étudier les résultats expérimentaux issus de la résolution de la série des cinq modèles à travers l'utilisation simultanée de l'approche à base d'agents et du recuit simulé. Dans un premier temps, nous nous focalisons sur l'analyse

de l'impact de la flexibilité, et ce, en comparant les coûts des différents modèles d'aménagement du temps de travail. Dans un deuxième temps, nous réexaminons les performances des deux approches de résolution, car grâce à la durée assez importante des simulations (60 quarts/modèle), nous serons en mesure d'avoir une idée plus représentative de la performance de l'approche à base d'agents vis-à-vis de l'algorithme de recuit simulé.

Le tableau 1 présente les résultats cumulés de la fonction objectif pour les différents modèles de flexibilité et pour chacune des deux méthodes d'ordonnancement-réordonnancement.

Les tableaux 2 et 3 comparent les écarts entre les différents modèles de flexibilité. Pour chacune des deux méthodes de résolution, l'écart entre deux modèles distincts est calculé selon la formule : $\frac{\text{Solution du modèle en colonne} - \text{Solution du modèle en ligne}}{\text{Solution du modèle en ligne}}$.

	Modèle 1 (quart de travail traditionnel)	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5
Approche SMA	1 502 191 \$	1 489 087 \$	1 479 411 \$	1 469 174 \$	1 462 620 \$
Recuit simulé (variance 2)	1 514 589 \$	1 499 607 \$	1 491 662 \$	1 487 892 \$	1 485 603 \$

Tableau 1 : Résultats cumulés des solutions d'ordonnancement/ réordonnancement

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5
Modèle 1	—	- 0,9 %	- 1,5 %	- 2,2 %	- 2,6 %
Modèle 2		—	- 0,6 %	- 1,3 %	-1,8 %
Modèle 3			—	- 0,7 %	- 1,1 %
Modèle 4				—	- 0,4 %
Modèle 5					—

Tableau 2 : Comparaison des coûts des modèles de flexibilité pour l'approche SMA

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5
Modèle 1	—	- 1 %	- 1,5 %	- 1,8 %	- 1,9 %
Modèle 2		—	- 0,5 %	- 0,8 %	- 0,9 %
Modèle 3			—	- 0,3 %	- 0,4 %
Modèle 4				—	- 0,2 %
Modèle 5					—

Tableau 3 : Comparaison des coûts des modèles de flexibilité pour le recuit simulé

On constate qu'en termes d'écart entre les trois premiers modèles, les deux approches de résolution aboutissent à des résultats similaires. Par contre, pour les modèles les plus flexibles 4 et 5, les écarts obtenus par l'approche SMA sont presque le double de ceux du recuit simulé.

Au niveau de l'impact de la flexibilité sur le coût d'ordonnancement et de réordonnancement du personnel, les deux approches de résolution apportent des résultats intéressants, et ce, dans la mesure où elles démontrent que l'adoption de la notion de flexibilité peut générer des gains notables. En effet, le principal résultat est que la diminution des coûts est au moins

égale à -0,9 % entre l'utilisation d'une part, d'un quart de travail conventionnel de 9-heures de travail sans aucune flexibilité sur le démarrage du quart (modèle 1) et d'autre part, de n'importe lequel des modèles de flexibilité proposé. En comparant le modèle 1 au modèle 5, cette diminution des coûts peut atteindre jusqu'à -1,9 % dans le cas d'utilisation du recuit simulé et -2,6 % dans le cas de l'approche SMA.

Par ailleurs, en comparant le modèle 2 respectivement aux modèles 3 et 4, les résultats suggèrent que la flexibilité sur la durée du quart de travail peut s'avérer plus intéressante que la flexibilité sur les périodes de démarrage de quarts de travail. En effet, en passant du modèle 2 au 3 (démarrage de quarts toutes les 2 heures vs toutes les heures), la diminution des coûts est de l'ordre de -0,5 % à -0,6 %, alors que le passage du modèle 2 au 4 (durée du quart fixée à 4, 5, 7 et 9h vs uniquement une limite de présence minimale des employés égale à 4h) permet des réductions des coûts de l'ordre de -0,8 % à -1,3 %.

Au niveau de la gestion des ressources humaines, ces résultats confirment la pertinence et l'intérêt de la notion de flexibilité dans le processus d'ordonnancement du personnel. Cependant, il est primordial que toute stratégie de flexibilité prenne en considération les spécificités liées d'une part, à la nature du secteur d'activité de l'entreprise et d'autre part, au statut, à la disponibilité et aux préférences des employés. Car l'utilisation abusive d'une grande

flexibilité par l'employeur peut engendrer des effets pervers. Notamment, des horaires fréquemment irréguliers pour les employés ou amener des employés à travailler moins que d'autres. De tels effets augmentent le risque que la vie professionnelle des employés empiète sur leur temps familial. En pratique, l'implantation d'une stratégie de flexibilité dans certains secteurs d'activité peut s'avérer une tâche difficile qui nécessite l'adaptation de l'organisation de l'entreprise à cette nouvelle situation et parfois même requiert de nouveaux investissements liés par exemple aux moyens de transport des employés en cas de travail à des heures tardives de la journée.

Par ailleurs, sur la base des résultats qui proviennent de la résolution du problème d'ordonnancement du personnel pour soixante quarts de travail et pour cinq modèles de flexibilité distincts suivant les approches SMA et recuit simulé, il est possible de procéder à un réexamen des performances de ces deux approches sur un horizon plus vaste que celui précédemment utilisé à la section 8.6.

La figure 2 illustre l'évolution de l'écart entre les coûts cumulés obtenus par les deux approches pour chacun des modèles de flexibilité. Au niveau de chaque quart de travail q , l'écart entre les deux approches est calculé à travers la formule :

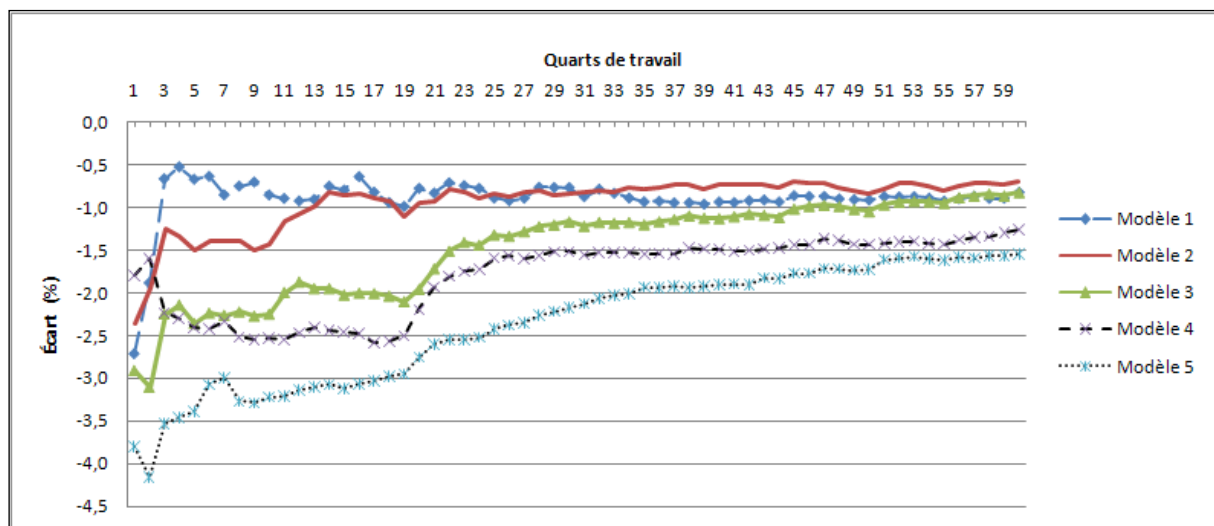
$$\text{Écart (\%)} = \frac{(\text{Coût cumulé SMA au niveau de } q - \text{Coût cumulé recuit simulé au niveau de } q)}{\text{Coût cumulé recuit simulé au niveau de } q}$$


Figure 2 : Comparaison des performances de l'approche à base d'agents vs recuit simulé

Nous observons aisément que les résultats obtenus confirment les bonnes performances de l'approche à base d'agents en comparaison avec l'approche de recuit simulé. La meilleure performance est obtenue pour le cas du modèle des horaires les plus flexibles (modèle 5). Dans ce cas, les résultats indiquent un écart de -1,6 %. L'écart le plus faible est enregistré dans le cas du modèle 2. Cet écart égal -0,7 %.

Sur la base de ces résultats, il est pertinent de noter que même si les valeurs des écarts entre les deux approches de résolution apparaissent peu significatives en terme relatif de pourcentage, leurs valeurs absolues peuvent s'avérer significatives. À titre d'exemple, pour une moyenne entreprise de 200 employés, la masse salariale hebdomadaire du personnel peut atteindre 180 000 \$ = 200 employés × 5 jours/employé × 9

heures/jour $\times$ 20\$/heures. Dans ce cas, une économie moyenne de 1 % grâce à l'utilisation de l'approche SMA représente 1800 \$ par semaine, cela se traduit en une économie de 93 600 \$ par an. Si on additionne à ce montant une économie moyenne de 2 % grâce à l'instauration d'une politique flexible de gestion des horaires de travail, on obtient un total d'environ 280 800 \$ par an. À notre sens, ce montant représente une économie substantielle qui peut être allouée à différents usages, notamment, à la formation des employés et à l'amélioration de leur environnement de travail. Dans cette perspective, un des moyens consiste à accorder un intérêt particulier à la prise en considération des préférences des employés dans le processus d'ordonnancement. Afin d'évaluer l'impact d'une telle démarche, nous analysons dans ce qui suit l'influence de la prise en compte des préférences des employés sur le coût total d'ordonnancement du personnel.

3. ANALYSE DE L'IMPACT DES PREFERENCES

Dans cette section, notre intérêt porte sur l'évaluation de l'impact de la prise en considération des préférences des employés sur le coût de la solution d'ordonnancement et de réordonnancement du personnel. Plusieurs recherches ont souligné l'importance et l'impact positif de la satisfaction des employés et des mesures qui améliorent leur qualité de vie sur la productivité au travail (Deery & Mahony 1994 ; Gärtner 2004). De plus, plusieurs recherches ont intégré les dimensions liées aux préférences des employés dans le processus de résolution du problème d'ordonnancement du personnel (Warner 1976 ; Sinuany-Stern & Teomi 1986 ; Dowsland 1998; Dowsland & Thompson 2000 ; Ernst et al.2004). Les aspects de préférences les plus fréquents dans l'ordonnancement sont liés à la durée du quart de travail, au nombre d'heures de travail hebdomadaire, au nombre des journées de travail consécutif, au modèle de rotation entre les employés, et aux jours de repos. Au meilleur de notre connaissance, la plupart des recherches liées à l'ordonnancement du personnel se sont limitées à la modélisation du problème en tenant compte des aspects de préférences et à la recherche d'une meilleure approche de résolution. Aucune exploitation des résultats n'a été faite dans le sens d'explorer l'impact des préférences sur le coût d'ordonnancement. À ce stade de notre recherche,

nous avons intégré dans notre modélisation trois dimensions qui expriment les préférences des employés. Les dimensions retenues dans notre modèle sont (Sabar et al. 2008) :

1. Préférences des employés au sujet de la durée du quart de travail. Cette préférence est exprimée en termes d'heures de travail souhaitées ;
2. Préférences des employés au sujet des activités préférées. Chaque employé exprime ses choix en précisant si une activité en question est souhaitée, non souhaitée ou bien s'il est indifférent ;
3. Préférences des employés au sujet du nombre de transferts inter-postes.

Ces préférences sont modélisées dans notre fonction objectif à travers des pénalités et des gains qui reflètent l'amplitude de la déviation par rapport aux valeurs souhaitées par chacun des employés.

Afin d'évaluer l'impact de ces préférences sur le résultat d'ordonnancement, nous procédons à une série de six simulations. À chaque simulation, on varie le poids relatif accordé aux pénalités et aux gains liés aux préférences dans la fonction objective. Cette démarche permet de relever les variations de l'incidence des préférences sur le résultat d'ordonnancement.

Pour chaque employé, nous considérons que la valeur nominale p des pénalités et des gains rattachés à ses préférences est choisie en corrélation avec le coût correspondant à sa présence au travail durant une unité de temps. Le tableau 4 illustre les différents coefficients de corrélation choisis pour chaque simulation. Ainsi, pour chacune des six simulations, nous considérons un coefficient de corrélation C , la valeur nominale p est calculée à travers la formule : $p = C \times$ coût unitaire de présence. Avec un coefficient égal à 0 %, la simulation#1 reflète la non-considération des préférences dans l'ordonnancement.

	simulation 1	simulation 2	simulation 3	simulation 4	simulation 5	simulation 6
Coefficient de corrélation C	0%	6,5%	20%	50%	80%	100%

Tableau 4 : coefficients de corrélation des valeurs de pénalités et de gains liés aux préférences / aux coûts de présence d'employés

Par ailleurs, la distribution de la valeur nominale p entre les trois catégories des préférences est effectuée selon le schéma suivant :

- Préférence des activités : une pénalité de $p/3$ si l'employé est affecté à une des activités non désirées ; 0 s'il est indifférent ; et un gain de $-p/3$ s'il est affecté à une des activités préférées.
- Préférence pour la durée du quart de travail : une pénalité de $p/3$ pour chaque période de planification de plus ou de moins par rapport à la durée souhaitée par l'employé.
- Préférence pour le transfert inter-postes : une pénalité de $p/3$ pour chaque transfert de plus ou de moins par rapport au nombre souhaité par l'employé.

Pour la mise en œuvre des simulations, nous avons choisi des paramètres de production identique à ceux qui sont utilisés dans la section précédente avec le modèle 5 comme stratégie de flexibilité. En plus, nous avons utilisé l'approche à base d'agents comme méthode de résolution du problème d'ordonnancement du personnel.

Dans la comparaison des résultats des simulations, nous nous intéressons à deux mesures de performance :

- Le coût net de la solution : désigne le coût total de présence des employés. Il ne tient pas compte des pénalités ou des gains rattachés aux préférences.
- Les préférences des employés : vu que les simulations ont des valeurs nominales distinctes pour les pénalités et les gains rattachés aux préférences, nous présentons les résultats des trois dimensions de préférences ramenés à base unitaire de coût (i.e. appliquer à la solution de chaque simulation une pénalité de 1 \$ et un gain de -1 \$ pour le calcul des préférences), et ce, afin de simplifier l'interprétation et la comparaison des résultats sur une base commune à toutes les simulations.

Pour chacune de ces deux mesures, nous nous intéressons à l'écart relatif par rapport à la valeur obtenue dans le cas de la simulation #1, dont les résultats sont considérés comme étant la base comparative pour les cinq autres simulations qui tiennent compte des préférences des employés. Le tableau 5 présente une synthèse des résultats de simulation obtenus.

Nous observons que l'augmentation du poids relatif des préférences affecte à une moindre échelle le coût net de la solution en comparaison avec son impact sur les mesures de préférences des employés. En effet, en comparant les simulations 1 et 6, on constate qu'une

augmentation de 100 % du poids des préférences dans la fonction objective donne lieu d'une part, à une augmentation d'environ 0.96 % du coût net de la solution d'ordonnancement, et d'autre part à une amélioration dans l'affectation des activités et des durées de quart de travail préférées par les employés dont la valeur est respectivement égale à 470 % et 10 %.

De plus, tenant compte du fait qu'un employé est affecté au maximum à 32-périodes de travail par quart (un quart de 9-heures = 32-périodes de 15 min de travail + 4-périodes de 15 min de pauses), un gain moyen de 25 \$/quart dû aux activités préférées est équivalent à une affectation moyenne de l'employé durant 83 % = 25/32 de son temps de travail aux activités qu'il préfère le plus. On note aussi, qu'une légère augmentation du poids de préférences à 6.5 % permet d'accroître exponentiellement la satisfaction des employés en ce qui concerne les activités qui leur sont allouées (environ 448 % d'amélioration). Au-delà d'un poids égal à 20 %, le taux d'amélioration de cette préférence est très peu significatif.

Par ailleurs, concernant la pénalité moyenne liée au nombre de transfert inter-postes des employés, nous n'observons aucune variation en fonction du changement du poids de cette préférence dans la fonction objective. Une explication possible de ce phénomène tient au caractère rigide de la contrainte utilisée pour modéliser l'état de transfert des employés. En effet, un transfert d'un employé entre deux postes de travail ne peut être constaté que si le plan de production impose une telle mesure. Les contraintes liées à cet aspect ne permettent pas de créer un état artificiel de déplacement des employés uniquement pour satisfaire les préférences de l'employé.

	Coefficient de corrélation	Fonction objectif (\$)	Coût net (\$)	Var. Coût net	Pénalité & gain moyen/employé/préférence/quart de travail					
					Activités préférées		Durée du quart		Transfert inter-postes	
					Pénali té/gai n	Var. %	Pénali té/gai n	Var. %	Pénali té/gai n	Var. %
simulation 1	0%	1 502 845	1 502 845	-	-4,4 \$	-	5,48 \$	-	2 \$	-
simulation 2	6,5%	1 462 620	1 505 016	0,14 %	-24 \$	448%	5,43 \$	-1%	2 \$	0%
simulation 3	20%	1 370 415	1 506 308	0,23 %	-24,5 \$	461%	5,43 \$	-1%	2 \$	0%
simulation 4	50%	1 166 042	1 509 816	0,46 %	-25 \$	470%	5,20 \$	-5%	2 \$	0%
simulation 5	80%	945 510	1 511 413	0,57 %	-25 \$	470%	5,07 \$	-8%	2 \$	0%
simulation 6	100%	812 243	1 517 295	0,96 %	-25 \$	470%	4,95 \$	-10%	2 \$	0%

Tableau 5 : résultats des simulations de l'impact des préférences sur les résultats d'ordonnancement

4. CONCLUSION

Dans cette partie de notre recherche, nous nous sommes intéressés à l'impact de la flexibilité dans l'aménagement du temps de travail sur la solution d'ordonnancement du personnel. Les résultats de simulation que nous avons élaborés ont démontré que la flexibilité peut conduire à une réduction du coût d'allocation du personnel. Suivant la stratégie adoptée, la réduction varie de -0.9 à -2.6 % en comparaison avec un modèle conventionnel de quart de travail.

Nous avons également cherché à connaître l'impact de la prise en compte des préférences sur le coût net d'ordonnancement. L'analyse des résultats de simulations montre qu'une amélioration de la satisfaction des employés de 448 % au sujet des

activités allouées et de 1 % au sujet de la durée du quart de travail (simulation 2) augmente le coût d'ordonnancement d'environ 0.14 %. Alors qu'une amélioration de 470 % et de 10 % pour les mêmes préférences augmente le coût d'environ 0,96 %.

De cet ensemble de résultats, on constate que les gains liés à l'implantation de la stratégie de flexibilité permettraient de compenser les coûts rattachés à la prise en considération des préférences des employés dans le processus d'ordonnancement. Ainsi, la combinaison de ces deux dimensions de gestion du personnel permet de répondre le mieux possible aux intérêts de l'employeur et de l'employé. En effet, d'un côté, grâce à la flexibilité, l'entreprise gagne en réactivité et en dynamique afin de s'adapter et de faire face aux aléas de la production et aux fluctuations du marché, et d'un autre côté, les employés seront plus satisfaits de leurs conditions de travail.

REFERENCES

Goldman, S. L., Nagel, R. N., & Preiss, K. (1995). *Agile competitors and virtual organizations: strategies for enriching the customer* (Vol. 8). New York: Van Nostrand Reinhold.

Hermel, P. (1986), *Stratégie, changement et ressources humaines : quelles relations?*, Centre d'étude et de recherche sur les organisations et la gestion, Aix en Provence.

Hopp, W. J., & OYEN, M. P. (2004). Agile workforce evaluation: a framework for cross-training and coordination. *Iie Transactions*, 36(10), 919-940.

Kula, U., Duenyas, I., & Iravani, S. M. (2004). Estimating job waiting times in production systems with cross-trained setup crews. *IIE Transactions*, 36(10), 999-1010.

Jordan, W. C., Inman, R. R., & Blumenfeld, D. E. (2004). Chained cross-training of workers for robust performance. *IIE Transactions*, 36(10), 953-967.

Wright, P. M., & McMahan, G. C. (1992). Theoretical perspectives for strategic human resource management. *Journal of management*, 18(2), 295-320.

Cazal, Didier et Anne Dietrich (2003), Compétences et savoirs : entre GRH et stratégie ?, Les Cahiers de la recherche, CLAREE, UPRESA, CNRS 8020.

Bayad, M., Arcand, G., Arcand, M., & ALLANI-SOLTAN, N. (2004). Gestion stratégique des ressources humaines: Fondements et modèles. *Gestion*, 74, 93.

Rivard, P. (2002). *La gestion de la formation en entreprise: pour préserver et accroître le capital compétence de votre organisation*. Presses de l'Université du Québec.

- Vairaktarakis, G., & Winch, J. K. (1999). Worker cross-training in paced assembly lines. *Manufacturing & Service Operations Management*, 1(2), 112-131.
- Bokhorst, J. A., Slomp, J., & Molleman, E. (2004). Development and evaluation of cross-training policies for manufacturing teams. *Iie Transactions*, 36(10), 969-984.
- Bard, J. F. (2004). Staff scheduling in high volume service facilities with downgrading. *Iie Transactions*, 36(10), 985-997.
- Sumukadas, N., & Sawhney, R. (2004). Workforce agility through employee involvement. *IIE Transactions*, 36(10), 1011-1021.
- Jordan, W. C., Inman, R. R., & Blumenfeld, D. E. (2004). Chained cross-training of workers for robust performance. *IIE Transactions*, 36(10), 953-967.
- Alfares, H. K. (2004). Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling literature. *Annals of Operations Research*, 127(1-4), 145-175.
- Michael, R. G., & Johnson, D. S. (1979). Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-completeness. *WH Freeman & Co., San Francisco*.
- Jennings, N. R., Corera, J. M., & Laresgoiti, I. (1995, June). Developing Industrial Multi-Agent Systems. In *ICMAS* (pp. 423-430).
- Jennings, N., & Wooldridge, M. J. (Eds.). (1998). *Agent technology: foundations, applications, and markets*. Springer.
- Panzarasa, P., & Jennings, N. R. (2001). The organisation of sociality: a manifesto for a new science of multi-agent systems.
- Sabar, M., Montreuil, B., & Frayret, J. M. (2008). *Competency and preference based personnel scheduling in large assembly lines*. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(4), 468-479.
- Sabar, M., Montreuil, B., & Frayret, J. M. (2009). *A multi-agent-based approach for personnel scheduling in assembly centers*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(7), 1080-1088.
- Sabar, M., Montreuil, B., & Frayret, J. M. (2012). *An agent-based algorithm for personnel shift-scheduling and rescheduling in flexible assembly lines*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), 2623-2634.
- Bailey, J., & Field, J. (1985). Personnel scheduling with flexshift models. *Journal of Operations Management*, 5(3), 327-338.
- Jacobs, L. W., & Bechtold, S. E. (1993). Labor utilization effects of labor scheduling flexibility alternatives in a tour scheduling environment. *Decision Sciences*, 24(1), 148-166.
- Bailey, J., & Field, J. (1985). Personnel scheduling with flexshift models. *Journal of Operations Management*, 5(3), 327-338.
- Thompson, G. M. (1995). Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem. *Management Science*, 41(4), 595-607.
- Brusco, M. J., & Jacobs, L. W. (1993). A simulated annealing approach to the solution of flexible labour scheduling problems. *Journal of the Operational Research Society*, 1191-1200.
- Rekik, M., Cordeau, J. F., & Soumis, F. (2004). Using benders decomposition to implicitly model tour scheduling. *Annals of Operations Research*, 128(1-4), 111-133.
- Topaloglu, S., & Ozkarahan, I. (2004). An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences. *Annals of Operations Research*, 128(1-4), 135-158.
- Thompson, G. M. (1995). Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem. *Management Science*, 41(4), 595-607.